

21 世纪的光学和光电子学讲座

第四讲 光全息术及相关产业的现状与发展^{*}

刘 守 张向苏

(厦门大学技术物理研究所 厦门 361005)

王天及 李耀棠

(中国科学院广州电子技术研究所 广州 510070)

摘 要 简要地叙述了光全息术半个世纪以来的发展, 并就其应用较为广泛和产业化较为成熟的全息干涉计量、全息存贮、显示全息和模压全息及其产业的现状与发展作了概述。

关键词 全息术, 干涉计量, 全息存贮, 显示全息, 模压全息

HOLOGRAPHY AND ITS INDUSTRIAL APPLICATIONS

LIU Shou ZHANG Xiang-Su

(Institute of Technical Physics, Xiamen University, Xiamen 361005)

WANG Tian-Ji LI Yao-Tang

(Guangzhou Institute of Electronic Technology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510070)

Abstract The development of holography in the half century is described in brief, focusing on its present status and the industrial applications of holographic interferometry, holographic storage, display holography and embossed holography, which are widely applied in different areas and successful in industry.

Key words holography, interferometry, holographic storage, display holography, embossed hologram

1 引言

光全息术是利用光的干涉和衍射原理, 将物体反射的特定光波以干涉条纹的形式记录下来, 并在一定条件下使其再现, 形成与原物体逼真的三维像。由于记录了物体的全部信息(振幅和位相), 因此称为全息术或全息照相术。显然, 这是一种用光学方法在人的视觉上再现物体三维清晰像的典型技术。近年来, 这种技术的实际应用范围越来越广, 且已超出工程技术领域, 扩展到医学、艺术、装饰、包装、印刷等领域。正如 1983 年英国泰晤士报宣称:“全息照相术面临的突破比 150 年前照相术面临的突破更加有意义。”提出这种观点的基础是因为模压全息图的产生。这种产品使几十年来仅限于少数专家在实验室中的全息显示技术形成了能大规模生产的产业。

光全息术是由 D. Gabor 发明的, 他早期的工作是致力于提高电子显微镜的分辨率^[1-3], 那时科学

家们认为新的显示时代已到来。但由于当时没有足够强的相干辐射源, 全息术的发展陷入了休眠状态。面临着巨大的障碍和仅有的一点结果, 使它的早期研究者不得不放弃了这种光学显示技术。全息术黯淡的前途直至 60 年代初由于美国密执安大学雷达实验室进行的工作才使它重放光彩。该实验室从事综合孔径天线研究的 E. N. Leith 和 J. Upatnieks 几乎在 Javen 等人制成氦氖激光器的同时, 对 Gabor 的技术做了划时代的改进^[4], 同时成功地进行了三维立体漫射物的记录和再现实验^[5, 6]。同时期(1962 年), 前苏联科学家 Y. N. Denisjuk 根据 G. Lippmann 的驻波天然彩色照相法(1908 年获诺贝尔物理学奖)提出了白光反射全息图^[7-9]。从此应用研究不断发展, 许多科学工作者开始了他们自己的研究以探讨全息术的应用潜力及其应用领域, 如全息干涉计量术、全息存储、全息光学元件、全息显微术、

^{*} 1999-11-18 收到

显示全息、计算全息等等。这期间, S. A. Benton^[10] 彩虹全息图的发明揭开了显示全息图的应用序幕(80年代产业化的模压全息术就是建立在 Benton 彩虹全息图的基础上)。他们的成功, 使 Gabor 的全息思想在 1971 年获得诺贝尔物理学奖。

本文就光全息术中几个应用较为广泛、产业化较成熟的领域——全息干涉计量、全息存储、显示全息和模压全息术及其产业的现状与发展进行概述。

2 全息干涉计量

全息干涉计量术^[11] 是全息术诞生以来最广泛地得到实际应用的一个领域。早期的工作是开创以全息术为基本手段对非透明的漫射物表面静态和动态变化的信息进行检测的理论和方法。这亦即是利用全息术的空间波前再现原理, 非接触地进行对物体表面三维测量而获得信息。全息干涉计量术在微应力分析、表面微位移测量、形状和等高线的检测、振动分析、无损检测等领域得到了广泛的应用。由于它能解决一般的干涉计量术以及其他手段难以解决的问题, 所以该技术很快渗透到机械学、流体力学、断裂力学、空气动力学、声学、航空航天、化工、高分子化学、医学、生物学等学科领域中去。

在具体方法上, 先后发展了实时全息干涉法、二次曝光全息干涉法、时间平均全息干涉法、双波长干涉法, 以及双脉冲频闪全息干涉法等等。随着光电技术、计算机技术、CCD 器件及光纤技术的飞速发展, 使得全息干涉计量术在信息采集和处理上更为方便、快捷和可靠, 并得以在恶劣环境条件下对某些物理量进行定时测量。随后出现的相移技术、外差技术和锁相技术等, 可以使得测量精度提高到 $\lambda/100$ 或更高。

此外, J. A. Leendertz 在这期间开辟了全息干涉计量术的另一个新的分支——激光斑纹计量术。它是对物体非镜面的反射表面以干涉法实现信息的采集和处理的新的一种检测方法。在激光斑纹计量术中, 先后发展了 4 种不同的信息采集及其处理方法: 参考光束斑纹干涉计量法、双光束斑纹干涉计量法、双光阑斑纹干涉计量法和剪切斑纹干涉计量法。Y. Y. Hung 发展的剪切斑纹干涉计量法在实践中得到了广泛的应用, 他组织生产一种用于轮胎无损检测的激光剪切斑纹照相机占领了很大的市场^[12]。

全息干涉计量术在 80 年代美国等西方先进国家已产业化。仅美国 1985 年的经营额就达 9200 万

美元。由于 80 年代末期电子计算机软件和硬件技术的飞速发展, 使得 70 年代实验室内诞生的电子斑纹干涉计量更加成熟和实用。被称之为电子斑纹干涉计量术即是基于斑纹干涉计量术的原理并与现代电子学和数学技术的紧密结合而成, 其优点是自动化程度高, 由计算机控制信息的采集和处理, 可实时地进行静态和动态检测。我国较早研究激光斑纹现象及其应用的论文可见著于 70 年代末的《激光》。在全息干涉计量术的应用研究方面, 我国在 80 年代初已有几所大学和科研单位的研究项目通过鉴定, 其中包括双脉冲红宝石激光的全息干涉计量术研究与应用, 有些已达到当时的先进水平。但其后全息干涉计量术的研究成果一直停留在实验室阶段, 在某些工程领域中被用作在线实时检测的愿望至今尚没有完美的实现。

3 全息存储

全息存储^[13] 在存储容量方面具有巨大的优势, 加上其具有冗余度高、数据读取速率高及可并行读取等独特优点, 被认为最有潜力与传统的磁性存储技术竞争。所以, 全息存储从全息术诞生之日起, 就受到了充分的注意。用感光干版作为普通照相记录信息时, 信息存储密度的数量级一般为 10^5 bit/mm^2 ; 用平面全息图存储信息时, 存储密度一般可提高一个数量级达 10^6 bit/mm^2 ; 如果用体全息图存储信息时, 存储密度可高达 10^{13} bit/cm^3 。高密度和大容量的全息存储是利用全息术将要存储的信息制作成傅里叶变换点全息图, 这些按页面方式存储的点全息图可以排成二或三维阵列存储在记录介质上, 也可以像 CD 唱片的旋转轨迹那样排列存储在圆盘上。用于全息存储的记录材料较多, 有可永久保存的银盐干版、光聚合物及光致抗蚀剂等, 也有可擦除重复使用的光导热塑料、有机或无机的光致变色和光折变材料。

60 年代末发现光折变效应以后, 在光折变晶体中全息存储曾一度成为热点并提出过许多设计精巧的存储方案。1975 年, 美国 RCA 公司首次报道了在 1 cm^3 的铌酸锂晶体中存储了 500 幅全息图的实验。这些早期的工作虽然很出色, 但是由于高性能的体全息存储器对光学系统和元器件的要求较高, 技术上相对复杂, 而且更主要的是当时半导体存储技术和磁存储技术发展得非常迅速并能满足计算机输入/输出的要求, 再加上后来发展的光盘存储技术又

以其与磁存储技术相兼容的优势而使全息存储技术一度发展迟缓,实用化的研究停滞不前。在中国,许多研究人员也放弃了这项技术的研究。进入80年代后,光计算的热潮又重新激发起对全息存储的研究兴趣。全息存储技术在光计算领域,如光学神经网络、光互连,以及在模式识别和自动控制等领域中有广阔的应用前景。这一时期的研究工作主要是集中在存储方法和存储材料方面,同时,全息存储器(系统)也开始向实用化迈进。

导致这项技术在90年代再次卷土重来,可能应归功于美国奥斯汀微电子学计算机技术公司(MCC)的G. Willenbring。他指出,正在出现的并行高性能计算机需要更高的输入/输出速度。这种速度利用全息存储技术可以得到满足。磁盘的存取时间约为10ms量级。全息存储器的存取时间比磁盘快了3—4个数量级。该公司近几年在记录材料方面和美国斯坦福大学合作,已获得了10项专利。

美国Northrop公司于1991年在 1cm^3 掺铁铈酸锂晶体中存储并高保真再现了500幅高分辨率军用车辆全息图。1992年,又在同样的铈酸锂晶体中存储1000页的数字数据,并无任何错误地复制到数字计算机的存储器。这些研究表明,全息存储具有足够的保真度,可用于数字计算机的存储。全息存储器可望存储几千亿字节数的数据(目前光盘是6.4亿字节数据),并以等于或大于 10^8bit/s 的速度传送数据,可在 $100\mu\text{s}$ 或更短的时间内随机选择一个数据页面。因此,其他任何一种同时具有这三项优点的存储技术都没有体全息存储这样接近实用化阶段。这一事实在世界范围内再次引起体全息存储研究的热潮并取得很大的进展^[14]。其主要表现在:(1)存储容量迅速提高和性能不断改善,并逐步走向实用。例如,1994年美国加州理工学院在 1cm^3 掺铁铈酸锂晶体中记录了10000幅全息图,同年,斯坦福大学的一个研究小组把经压缩的数字化图像视频数据存储在一个全息存储器中,并再现了这些数据而图像质量无显著下降^[15]。(2)实用化的全息存储系统逐渐推出。例如,1995年由美国政府高级研究项目局(ARPA)、IBM公司的Almaden研究中心、斯坦福大学等联合成立了协作组织并在美国国家存储工业联合会(NSIC)主持下,投资约7000万美元,实施了光折变信息存储材料(PRISM)和全息数据存储系统(HDSS)项目,预期在5年内开发出具有容量为1万亿位数据、存储速率为1000MB/s的一次写入或可重复写入的全息数据存储系统^[14 15]。IBM公司也研

制出一台灵活而稳固的高分辨率的自动全息存储系统试验台,它可以对各种体全息存储材料的参数按照产品级性能的标准作出定量测量^[16]。同样的研究和开发工作在法国、英国、德国和日本等国家也正在加紧进行。

近10年来,光电子技术和器件方面的情况也发生了很大的变化。光电子技术取得的一系列重大进展为全息存储器提供了所必需的高性能半导体激光器、液晶空间光调制器、CCD阵列探测器等核心元器件。全息存储的理论、方法和材料的发展使这项技术日趋成熟。而当代计算机技术和光计算技术的迅速发展,无可非议地需要有比磁盘和光盘容量更大、读取速度更高、功能更好的存储器件,因而对全息存储器的要求再次提到了日程。目前,数字数据、图像的全息存储器以及三维全息存储盘的研制进程不断地在加快,其应用领域也日益展宽。

在国外学术界和工业界,已进行了许多令人难忘的实验演示,证明全息存储器具有作为竞争性商品化产品所必须具有的存储容量、读出速度和保真度^[17]。我国有几所大学和研究所的实验室也投入了这热潮中,目前还未解决的一个难题是寻找合适的记录材料。无疑,今后几年将是规划生产可与其他存储技术相竞争的全息存储器的良机。但人们能否抓住这个良机,主要取决于能否及时开发出实用化的记录材料和系统。另外,在我国还必须吸取科研单位与企业界脱离之教训。

4 显示全息

显示全息术或称全息三维显示是光全息术应用的一个重要方面(本节不包括模压全息图)。随着科学技术的进步,显示全息图将被普遍推广应用。每三年一次的显示全息术国际会议的主席一般是全息界泰斗E. Leith、Y. Denisyuk或S. A. Benton等人。每次会议都吸引了来自各国的科学家、艺术家、大学研究人员和企业界人士。会议都伴随着展出令人惊讶的全息图,它们或栩栩如生、或色彩鲜艳、或变化无穷、或显示的物波占前后空间(以像基为中心)半米多的三维立体像。让人欣赏到精美的物体细节、逼真的立体视觉,带给人遐想和灵感。因此这项技术在艺术领域中有着广泛的应用,如艺术图像精品、稀世文物再现、三维显示壁灯、科教显示图、大幅仿真商业广告等。

显示全息图目前主要有两大类:第一类是Lipp-

mann 全息图, 制作方法有 Denisyuk 的单光束法^[7-9]和 Benton 的开窗法^[18]. 随着高质量记录材料的发展, 随后的一些研究者和艺术家不断地追求更实用的拍摄技术, 如假彩色编码和真彩色反射全息图等等. 美国光学学会主办的《Applied Optics》和《Optics Letters》在 80 年代后都有关于这方面的论文报道. 由 SPIE 主办的《Holosphere》和美国全息制造商协会主办的《Holography News》以往和近年都不断地报道有关显示全息图的最新制作技术以及商业信息. 比如, 近期由于高衍射效率的记录材料——全色光聚合物(软片)的出现, 使显示技术日趋成熟. 日本 DNP 公司率先推出真彩色反射全息图, 应用于 1999 年 3 月出版的《Holography Marketplace》的封面, 其艺术效果令世人瞩目. 当然, 显示全息图在许多方面的实用化追求是大尺寸, 其制作材料是银盐干版. 一般要求至少 $30\text{cm} \times 40\text{cm}$, 最大为 $50\text{cm} \times 60\text{cm}$, 更大的成本太高, 制作难度也大, 可能不适应商品市场. 至于重铬酸明胶(DCG)全息图, 虽然制作难度很高, 但这种全息图的高亮度和清晰度, 对于制成精美的多种小型艺术品作为礼品, 有着很大的市场潜力. 第二类是 S. A. Benton 的彩虹全息图. 这项发明是确定光全息术产业化的奠基石(后来发展的模压全息就是一例). 这是一种透射式显示全息图, 由于重现像存在彩虹般的色彩而得名. 随后的研究成果不断出现. 如可 360° 观察到的动态物体像的圆柱型彩虹全息图, 为了加大景深而采用柱面镜加窄缝的像散彩虹全息, 以及假彩色编码^[19]和真彩色彩虹全息图等等. 作为商品广告或艺术显示, 彩虹全息图市场追求的是大幅, 一般在 $60\text{cm} \times 80\text{cm}$ 或 1m 见方.

显示全息图的制作技术在法国、美国、俄罗斯、英国、日本等国家发展较快. 70 年代以来, 这些国家都具备了设备条件一流的全息实验室. 在美国几乎每个城市都有显示全息图专卖店, 价格都比较昂贵. 一般商人都是直接到全息工作室订制全息图. 据报道^[20], 1994 年全世界显示全息图作为礼品的经营额是 4000 万美元. 近几年由于光聚合物材料的出现, 显示全息图的市场更活跃. 法国几家全息公司很兴旺, 订购者不乏其人, 往往使他们应接不暇.

在我国, 由于缺乏好的全息记录材料以及相对落后的实验设备, 使其制作技术水平与国外相比有一定的差距, 因此多年来一直无法使显示全息图形成商品化. DCG 全息图曾一度作为小艺术品匆匆忙忙进入了市场, 1992 年有三个公司的销售额是 920

万人民币, 但终因产品的技术指标达不到市场的要求且产品的单一性而走下坡路. 然而, 部分全息界的专家没有放弃追求. 例如, 由云南工业大学熊秉衡教授领导的激光研究所曾用脉冲红宝石激光器拍摄了人物肖像反射全息图, 国产化的全色银盐记录材料的研制也取得了重大的进展. 1999 年 9 月在深圳召开的“中国国际首届高新技术成果交易会”上展出了由厦门大学刘守等人用国产银盐版拍摄的几张反射全息图, 引起了商业巨子们的极大兴趣. 投资商们已着手这项技术的开发工作, 可望这项典型的科学与艺术相结合的技术成果在 21 世纪初走进千家万户.

值得一提的是一种称之为合成全息的准三维全息显示技术. 美籍华人学者张宗汉先生制作的合成全息图, 早在 1977 年就在苏州光福公社召开的全息学术会议上展示, 引起与会的全息工作者的浓厚兴趣. 那是一种大视场、白光再现的 360° 多路合成彩虹全息图, 其特点是再现活动场景. 中国科学院物理研究所的陈岩松在该会上作了合成全息的讲演吸引着与会的代表. 其后又发展一种纵向多路合成全息, 对医学上 CT 片的合成与立体显示有重要意义.

16 世纪文艺复兴时期千古流芳的艺术巨作, 给 17 世纪近代科学的诞生带来了灵感和生机. 希望显示全息图的艺术魅力也能给中国的高科技走向产业化带来生机.

5 模压全息术

至今已产业化的模压全息术在早期的文献和光全息学专著中都没有出现, 但全息专家们对于花费长时间在实验室中一张一张地制作小幅的全息图已感到不满足, 因此考虑到必须研究全息图的复制技术. 早期的复制类似普通印相法, 用相干光或非相干光机械拷贝, 并研制出相关的全息摄影复制机. 但产品率低、成本高, 无法产业化.

70 年代, 在纽约全息展览馆展出了 Mike Foster 1972 年制作的模压全息图, 同一时期 Steve McGrew 为《Holosphere》杂志提供了模压全息图作为该杂志的插图^[20]. 随后, 模压全息术的研究及其应用以疾风骤雨般的速度, 一系列引人注目的成果以及对于未来发展的使人简直眼花缭乱的的前景, 进入特种印刷行业的前列. 率先获得迅速发展的是美国、日本、英国、法国等国家. 第一个模压全息防伪标识是 1980 年在美国生产的, 1983 年美国钞票公司制造了带全息防伪的 VISA 银行卡. 1989 年美国成立了全

息制造商协会,并创办了《Holography News》杂志,以报道全息术的研究及其应用和市场,也报道因全息术知识产权问题而打官司之类事宜.该协会组织的每年一次的国际全息包装印刷会议吸引了各国专家、企业家、艺术家及商人.模压全息图作为安全防伪是遥遥领先的.正如国际商会情报局副局长 Peter Lower 所说:“激光全息图的新奇性、强烈的视觉效果、制作的难度以及易于应用在钞票的包装上、不能去除性、价格低廉、容易验证等特点,使它很快占领了防伪领域.”于是在身份证、护照、信用卡、名优产品、名牌服装标签,以及各类证件中得到广泛应用.而其逼真的三维显示、变幻无穷以及五彩缤纷的图像,使其在包装、产品促销和装饰上得到充分应用.

随着应用的推广、市场的需求,在 Benton 彩虹全息术的基础上,新的实用性研究成果不断产生.如激光拷贝技术^[21]、假彩色编码彩虹术^[22]、真彩色技术、同位异像术^[19]、动态组合彩虹术,以及为了提高全息标识防伪力度的加密码技术^[23-25]等等.特别是最近几年由于计算机技术对模压全息的渗透,新发展起来的一种称之为数字全息术,其中之一的点阵全息或数字像素全息的新技术又使模压全息的应用得到了进一步的提升,同时也使模压全息防伪的技术含量加倍提高.其制作全息图母版的技术是用聚集的两激光束相互干涉在光刻胶版上刻蚀编码的光栅点阵.任何图形皆可由专用控制软件经数据变换形成所需的控制码,从而驱动整套设备工作.这项技术目前又有新的进展^[26-28].其产品的特点是色彩丰富,衍射效率高,图像变幻无穷且可达到全视角.所以在商品的整体包装及装饰材料上得到广泛应用.不久前,中钞信用卡厂把数字像素全息技术应用用于面值 50 元的国庆 50 周年纪念版新人民币的防伪措施中去.数字全息的另一分支是以 LCD 屏为掩模拍摄合成的动态全息图,随着 LCD 屏分辨率和对比度的不断改善和提高,不难预测这一分支也将会具有长足的发展.另外,电子束刻蚀全息图与模压全息技术相结合的防伪技术我国也正在发展^[29].

模压全息术比印刷方法速度更快、更省事(无油墨)地将全息图复制于聚酯薄膜或经处理的纸上.这是一项将全息照相术(或数字点阵全息术)和化学电镀、模压等复制术结合起来的综合项目.制作可分为两个阶段:首先记录浮雕型全息图或光栅,然后将其上的干涉条纹用化学电镀成型技术转移到金属模板上(一般为镍版),最后在模压机上经加热、加压,将镍版上的条纹转移到各种透明或镀铝聚酯膜上.压

制的速度为 20—80m/min.一张从实验室制作出来的全息图或光栅母版,可以生产几十吨至上百吨的全息材料,而母版可保存 10—20 年.因此这项技术很快投入生产而形成产业化.

我国模压全息术起步较晚,但发展之迅猛让国际广大同行吃惊.1987 年,厦门大学的刘守在青岛琦美图像公司第一个开始制作模压全息图,琦美图像公司是和外商合作的国内第一家以生产模压防伪标志为主的企业,从此开创了我国模压全息产业的篇章.到 1990 年,类似的企业也只有 3 家,由于市场的刺激,致使在以后的几年内生产模压全息防伪标志的企业遍地开花,1994 年已发展到 150 多家,然而产品十分单调,都集中在防伪标识上.与此同时,国内在模压全息设备制造方面也取得了重大的进展.根据作者的调查,1994 年全国模压产品生产的销售额约为 3.9 亿元人民币.其中防伪标识就占了绝大部分,而全息包装仅占 1.5 千万元,全息设备占 2.5 千万元,其他如促销、礼品包装、证卷、卡通、贺卡、出版物等几乎是零.防伪标识占了整个国内市场的绝大部分.这就面临着一碗饭抢着吃的局面.于是一些模压全息公司的前途受到了动摇.人们提出:模压全息产业的前途、命运究竟如何?还能干下去吗?无疑,这种担忧是有道理的,因为绝大部分公司没有认识或了解到模压全息术的发展方向.加上没有足够的技术力量和国产原材料固有的缺陷,造成产品技术指标达不到要求.于是在激烈的市场竞争中,不少公司将会被淘汰.但在竞争中能充分认识市场需求并不断充实硬、软件的公司,将会脱颖而出.武汉华中图像有限公司就是其中的一例.他们的销售额直线上升,从 1995 年前的几百万元至近几年达五千多万元.

根据国内外市场现状的分析,我国模压全息产业的未来在三个发展方向上必须引起重视:首先是如何开拓全息烫金材料.众所周知,在各种高档次包装盒和印刷产品中,都离不开烫金材料.但几乎所有烫金图案或文字都是“金黄色”或“银白色”,即印刷业上称“金膜”、“银膜”.如果能够用任何图案都显示出五彩缤纷、变幻莫测且具高防伪力度的全息烫印材料去取代今天这种古老的金膜、银膜,无疑是印刷工业史上的一场革命.这项技术的优势在于不改变目前的烫印设备,只是在原烫印材料涂热敏胶之前经过一道模压技术处理,然后再涂热敏胶即可.

其次是全息包装材料.一件精良的包装,最重要的是要具备有特色和独特的外观.这直接影响到消

费者对商品由外到内的观感,从而决定消费者购买的欲望.透明或镀铝彩虹全息材料完全符合了这种包装的要求.这项技术是利用宽幅模压机将制作好的全息图压印于 60—110cm 宽的各种透明或镀铝塑料薄膜上,厚度范围为 12—250 μ m,也可将压印好的薄膜黏附到纸张上或在有涂层的纸张上直接压印.如果采用专版专用,这将使模压全息图进入一个更广泛的领域——立体防伪包装^[30].

第三个方向是模压全息术跟现代印刷术相结合.这样在产品的整体包装或标贴上更让消费者接受.因为两项技术的结合既保留了传统美术效果,又增进了现代科技的艺术魅力.这将在出版物,如书、杂志、笔记本封面及插图、台历、挂历、贺卡、艺术图片、明信片等等中得到应用,是个不可忽视的市场.

可以说,21 世纪包装工业中最具魅力、防伪力度最强的材料就属模压全息图^[31].

6 结束语

光全息术的问世至今已有半个世纪的历程.尤其是世界上第一台激光器诞生以后,光全息术的发展更十分引人注目.其应用领域之广泛和对其他现代技术的影响理应写入 20 世纪高科技成果之列.除上述几个领域之外,诸如:取代古老的光栅元件的全息光栅,其体积薄、重量轻,在现代军事和宇航中获得了重要应用;全息平视显示器也已装备了现代军用设备;全息显微术和 X 射线全息术的结合可用来研究物质的微观结构和生命现象细微过程,等等.又如,计算机全息图可再现实际不存在的三维物体像,用于三维图像显示,制作微分滤波器,检测非球面透镜,实现各种波前错位干涉,等等.再如,全息光学元件,全息空间滤波器,光纤全息等可用于光学神经网络,扫描器,光盘读写头和现代通讯系统等等.这诸多领域的研究和应用近年来都有了很大的进展,限于篇幅无法一一描述.70 年代初以来,我国的激光全息工作者就在光全息术及其应用的各个领域里起步和跟踪.通过坚持不懈的努力,在科研和教学中做了大量的工作,取得了不少成绩,为激光全息学科及其产业的发展作出了贡献.限于作者水准,未能尽全引录,有望读者涵盖指正.新的世纪即将来临,在人类各项科学与技术的发展和沉积中,在当前科技飞速发展的数字化的氛围中,我国未来的光全息术及其产业一定会有一个更加光辉灿烂的前景.

本文作者刘守、张向苏两位借此恭疏表达有关心愿:当 1993 年国际全息制造商协会将当年(第四届)唯一的世界最佳防伪标识全息图设计和制作优秀奖颁给我们时,内心由衷感激为我国光全息术的发展而作出贡献的老一辈学者:徐大雄院士、于美文教授和郭履容教授等等.

参 考 文 献

- [1] Gabor D. *Nature*, 1948, 161: 777
- [2] Gabor D. *Proc. Roy. Soc. (London)*, 1949, A197: 454
- [3] Gabor D. *Proc. Roy. Soc. (London)*, 1951, B64: 449
- [4] Lerth E N, Upatrieks J. J. *Opt. Soc. Am.*, 1962, 52: 1123
- [5] Lerth E N, Upatrieks J. J. *Opt. Soc. Am.*, 1963, 53: 1377
- [6] Lerth E N, Upatrieks J. J. *Opt. Soc. Am.*, 1964, 54: 1295
- [7] Denisuk Y N. *Soviet Phys. — DOKLADY*, 1962, 7: 543
- [8] Denisuk Y N. Pt. I. *Opt. Spectrosc.*, 1963, 15: 299
- [9] Denisuk Y N. Pt. II. *Opt. Spectrosc.*, 1965, 18: 152
- [10] Benton S A. J. *Opt. Soc. Am.*, 1969, 59: 1545
- [11] 维斯特 C M. 全息光栅度量学. 北京: 机械工业出版社, 1984 [Wister C M. *Holographic Grating Metrology*. Beijing Mechanical Industry Press 1984(in Chinese)]
- [12] 丹蒂 J C 著, 黄乐天等译. 激光斑纹及有关现象. 北京: 科学出版社, 1981 [Doughty J C. HUANG Le-Tian *et al.* trans. *Laser Speckly and Related Phenomena*. Beijing: Science Press 1981(in Chinese)]
- [13] 陶世荃等. 光全息存储. 北京: 北京工业大学出版社, 1998 [TAO Shi-Quan *et al.* *Optical Holographic Storage*. Beijing Industry University Press 1998(in Chinese)]
- [14] Hesselink L. *Photonics Spectra*, 1996, 44
- [15] Heanue J F. *Science*, 1994, 265(5): 749
- [16] Bernal M P *et al.* *Appl. Opt.*, 1996, 35(14): 2360
- [17] Drole J P *et al.* *Opt. Lett.*, 1997, 22(8): 552
- [18] Saxby G. *Practical Holography*. Prentice Hall, London: 1988
- [19] Liu S *et al.* *Proc. of Third International Conference on Holographic Systems, Components and Applications* Edinburgh (UK), 1991
- [20] *Holography News*, 1996 10: 3
- [21] McGrew S. US Patent, 411489, 1983
- [22] Zhang X S, Liu L. *Chinese J. of Lasers*, 1993 B(3): 211
- [23] Liu S, Zhang X S *et al.* *Proc. SPIE*, 1993, 2000: 315
- [24] Liu S, Zhang X S. *Appl. Opt.*, 1995, 34(22): 4700
- [25] 刘守等. 光学技术, 1999(1): 14 [LIU Shou *et al.* *Optical Technology*, 1999(1): 14(in Chinese)]
- [26] Wang T, Li Y *et al.* *Pro. OFICO*, 1998, 9(Supp): 397
- [27] Wang T, Li Y *et al.* *Pro. of SPIE*, 1998, 3491: 1141
- [28] 王天及等. 物理, 1998, 27: 680 [WANG Tian-Ji *et al.* *Physics*, 1998, 27: 680(in Chinese)]
- [29] 王天及等. 激光杂志, 1999, 20(3): 34 [WANG Tian-Ji *et al.* *Laser Journal*, 1999, 20(3): 34(in Chinese)]
- [30] 刘守, 张向苏. 中国包装, 1998, 18(5): 57 [LIU Shou, ZHANG Xiang-Su. *Chinese Packaging*, 1998, 18(5): 57(in Chinese)]
- [31] 刘守, 张向苏等. '96 国际全息包装及印刷会议论文集, 1996, 411 [LIU Shou, ZHANG Xiang-Su *et al.* *Proc. of '96 International Packaging Conference*, 1996, 411(in Chinese)]